

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-134620

(43)Date of publication of application : 21.05.1999

(51)Int.Cl.

G11B 5/39

H01F 10/00

H01L 43/08

(21)Application number : 09-298567

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 30.10.1997

(72)Inventor : NAKADA MASABUMI

TSUGE HISANAO

TSUKAMOTO YUJI

MATSUDERA HISAO

ISHIWATA NOBUYUKI

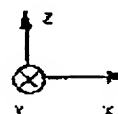
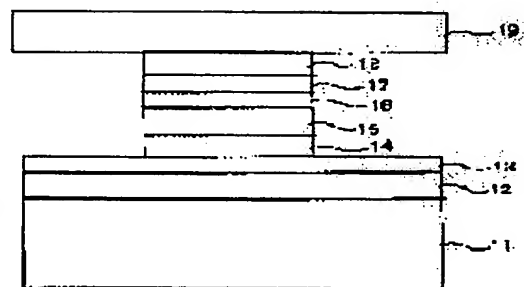
KAMIJO ATSUSHI

(54) FERROMAGNETIC TUNNEL JUNCTION ELEMENT SENSOR AND ITS MANUFACTURE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize a ferromagnetic tunnel junction element sensor having few noise at the time of measuring magnetic field.

SOLUTION: The sensor is provided with a five-layer structure wherein a first antiferromagnetic layer 14 and a free magnetic layer 15 both of which are patterned in a proper sized shape are laminated on a lower electrode 12 and a substrate 13 which are formed on the substrate 11 and further a tunnel barrier layer 16, a fixed magnetic layer 17 and a second antiferromagnetic layer 18 are laminated. An upper electrode 19 is provided on the second antiferromagnetic layer 18.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 30.10.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 03.08.1999

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-134620

(43) 公開日 平成11年(1999) 5月21日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

H 0 1 F 10/00

H 0 1 F 10/00

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z

審査請求 有 請求項の数14 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-298567

(22) 出願日 平成9年(1997)10月30日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 中田 正文

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 柘植 久尚

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 塚本 雄二

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

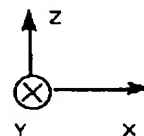
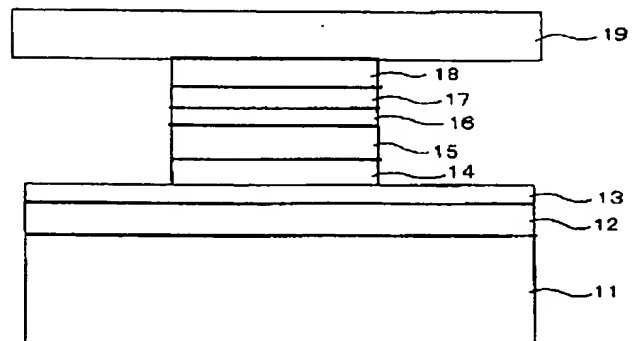
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 強磁性トンネル接合素子センサ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 磁界測定時のノイズの小さい強磁性トンネル接合素子センサを実現する。

【解決手段】 基板11上に形成された下電極12、下地層13の上に、適当な大きさ形状にパターン化された第1の反強磁性層14、フリー磁性層15を積層し、トンネルバリア層層16、固定磁性層17、第2の反強磁性層18の5層構造が積層された構造である。第2の反強磁性層の上には上電極19が設けられている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】第一の反強磁性層、フリー磁性層、トンネルバリア層、固定磁性層、第二の反強磁性層が順次積層され、第一の反強磁性層の交換結合磁界によりフリー磁性層の磁気異方性がトラック幅方向に向き、第二の反強磁性層の交換結合磁界により固定磁性層の磁気異方性が MR 高さ方向に向くことを特徴とする強磁性トンネル接合素子センサ。

【請求項 2】第一の反強磁性層、界面制御層、フリー磁性層、トンネルバリア層、固定磁性層、第二の反強磁性層が順次積層され、界面制御層を介した第一の反強磁性層の交換結合磁界によりフリー磁性層の磁気異方性がトラック幅方向に向き、第二の反強磁性層の交換結合磁界により固定磁性層の磁気異方性が MR 高さ方向に向くことを特徴とする強磁性トンネル接合素子センサ。

【請求項 3】バイアス強磁性層、界面制御層、フリー磁性層、トンネルバリア層、固定磁性層、反強磁性層が順次積層され、界面制御層を介したバイアス強磁性層の交換結合磁界によりフリー磁性層の磁気異方性がトラック幅方向に向き、反強磁性層の交換結合磁界により固定磁性層の磁気異方性が MR 高さ方向に向くことを特徴とする強磁性トンネル接合素子センサ。

【請求項 4】第一の反強磁性層の交換結合磁界を発生する上限の温度（ブロッキング温度）を T_{B1} 、第二の反強磁性層の交換結合磁界を発生するブロッキング温度を T_{B2} とすると、

$$T_{B1} > 150^{\circ}\text{C}$$

$$T_{B2} - T_{B1} > 50^{\circ}\text{C}$$

である請求項 1 又は 2 記載の強磁性トンネル接合素子センサ。

【請求項 5】第一の反強磁性層の発生する交換結合磁界を H_{ex1} 、第二の反強磁性層の発生する交換結合磁界を H_{ex2} とすると、

$$H_{ex1} > 200\text{ Oe}$$

$$H_{ex2} > 2000\text{ Oe}$$

であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の強磁性トンネル接合素子センサ。

【請求項 6】反強磁性層が、Fe-Mn（鉄-マンガン）合金、Ni-Mn（ニッケル-マンガン）合金、Pt-Mn（白金-マンガン）合金、Ir-Mn（イリジウム-マンガン）合金、Ru-Mn（ルテニウム-マンガン）合金、Rh-Mn 合金、Cr-Al（クロム-アルミ）合金のいずれか、もしくは、これらの金属（合金）を二種類以上含む合金、またはそれらの二層膜から構成されることを特徴とする請求項 1、2 又は 3 記載の強磁性トンネル接合素子センサ。

【請求項 7】界面制御層が Al、Ti、V、Cr、Mn、Cu、Zn、Y、Zr、Nb、Mo、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Pt、Au、Pb、Bi、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、G

d、Tb、Dy、Ho、Er、もしくはその合金から構成されることを特徴とする、請求項 2 又は 3 に記載の強磁性トンネル接合素子センサ。

【請求項 8】界面制御層の厚さ t が、 $1\text{ nm} \leq t \leq 10\text{ nm}$ の範囲であることを特徴とする、請求項 2 又は 3 記載の強磁性トンネル接合素子センサ。

【請求項 9】強磁性層は Fe、Co、Ni またはそれらの元素を含む合金であることを特徴とする請求項 1、2 又は 3 記載の強磁性トンネル接合素子センサ。

10 【請求項 10】請求項 1 から 9 のいずれかに記載の強磁性トンネル接合素子センサの製造方法において、フリー磁性層、トンネルバリア層、固定磁性層を真空中で連続形成する工程と、金属または半導体からなる導電層を成膜した後、真空中に酸素を導入し、この導電層表面を自然酸化してトンネルバリア層を形成する工程とを含むことを特徴とする強磁性トンネル接合素子の製造方法。

20 【請求項 11】請求項 1 から 9 のいずれかに記載の強磁性トンネル接合素子センサの製造方法において、フリー磁性層、トンネルバリア層、固定磁性層を真空中で連続形成する工程と、前記フリー磁性層を成膜した後、真空中に酸素を導入してこのフリー磁性層表面を酸化する工程と、金属または半導体からなる導電層を成膜した後、真空中に酸素を導入し、この導電層表面を自然酸化してトンネルバリア層を形成する工程とを含むことを特徴とする強磁性トンネル接合素子センサの製造方法。

【請求項 12】導電層が Al、Mg、ランタノイドに属する金属であることを特徴とする請求項 10 又は 11 記載の強磁性トンネル接合素子センサの製造方法。

30 【請求項 13】請求項 1、2 記載の強磁性トンネル接合素子センサの製造方法において、磁界をトラック幅方向に印可し、第一の反強磁性層のブロッキング温度 T_{B1} 以上で熱処理する工程を含むことを特徴とする強磁性トンネル接合素子センサの製造方法。

【請求項 14】請求項 3 記載の強磁性トンネル接合素子センサの製造方法において、バイアス強磁性層の保磁力以上の磁界をトラック幅方向に印可する工程を含むことを特徴とする強磁性トンネル接合素子センサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

40 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高密度磁気ディスク装置における再生用磁気ヘッドや高密度磁気メモリ（MRAM）に適した磁気抵抗効果素子に関する。

【0002】

50 【従来の技術】強磁性トンネル接合素子は二つの強磁性層の間に数 nm 厚の薄い絶縁体からなるトンネルバリア層を挟んだ構造を持つ。この素子では強磁性層間に一定の電流を流した状態で強磁性層面内に外部磁界を印加した場合、両磁性層の磁化の相対角度に応じて抵抗値が変化する磁気抵抗効果現象が現れる。この磁化の向きが平

行である場合には抵抗値は最小となり、反平行である場合には抵抗値が最大となる。従って、両磁性層に磁界感度の差もしくは保磁力差を付与することによって、磁界の強さに応じて磁化の平行及び反平行状態を実現できるため、抵抗値の変化による磁界検出が可能となる。

【0003】近年、トンネルバリア層にAlの表面酸化膜を用いることによって20%近い磁気抵抗変化率を示す強磁性トンネル接合素子が得られるようになったことから、磁気ヘッドや磁気メモリへの応用の可能性が高まってきた。こうした大きな磁気抵抗変化率を報告している代表例として、「1997年8月、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス、81巻、3741~3746頁(Journal of Applied Physics, vol. 81, 3741~3746, 1997)」がある。この技術を図面を用いて説明する。図5に示すように、Si基板54上にPt(20nm)の下電極55、NiFe(4nm)の下地層56、FeMn(10nm)の反強磁性層57、NiFe(8nm)の固定磁性層58を成膜し、続いて1.0~3.0nm厚のAl層を成膜する。このAl層表面を酸素グロー放電に曝すことによって、Al₂O₃からなるトンネルバリア層59を形成する。最後に、このトンネルバリア層59を介しCo(8nm)のフリー磁性層60、Pt(20nm)の上電極61を成膜して強磁性トンネル接合素子を完成させる。この方法では、磁気抵抗変化率として最大21%という大きな値が得られている。

【0004】強磁性トンネル接合素子を磁気ヘッドや磁気メモリなどのデバイスに適用するためには、トンネルバリア層を挟んだ強磁性層の、一方の強磁性層の磁化方向は外部磁界により容易に反転し(フリー磁性層)、残りの強磁性層の磁化方向は容易には反転しない(固定磁性層)ようにする必要がある。このため、磁性材料としてはNiFe等の軟磁性材料を用い、反強磁性層により固定磁性層の磁化方向を固定する方法が一般的に採られている。図5に示した従来例では、下部電極のNiFeからなる固定磁性層をFeMn反強磁性層により固定している。

【0005】その他の例として、「特開平5-63254」、「特開平6-244477」、「特開平8-70148」、「特開平8-70149」、「特開平8-316548」及び「1997年、日本応用磁気学会誌、21巻、493~496頁」などの報告がある。ここでは、トンネルバリア層の形成方法として、Al層を成膜した後、大気中に曝してAl₂O₃を成長させる方法が提案されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】高密度磁気ディスク装置における再生用磁気ヘッドや高密度磁気メモリ(MRAM)に強磁性トンネル接合素子を応用する場合、素子寸法は数μm以下になる。これは、高密度に対応するた

めに、記録面積を小さくする必要があるためである。この場合、磁性層の端部から磁区が発生するため外部磁界の測定時に磁区が移動し、再生ノイズが発生する。

【0007】本発明は、このような問題点を解決すべくなされたもので、磁界測定時のノイズの小さい強磁性トンネル接合素子センサを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の強磁性トンネル接合素子センサは、順に積層された第一の反強磁性層、フリー磁性層、トンネルバリア層、固定磁性層、第二の反強磁性層を有し、前記フリー磁性層は全面が前記第一の反強磁性層と密着しており、前記第一の反強磁性層の交換結合磁界により前記フリー磁性層の磁気異方性がトラック幅方向に向き、前記第二の反強磁性層の交換結合磁界により固定磁性層の磁気異方性がMR高さ方向に向くことを特徴とする。

【0009】本発明において、MR高さ方向とは積層構造の面と平行方向であって測定する外部磁界の方向をいい、トラック幅方向とは、積層構造面と平行方向であって外部磁界と垂直方向を言う。

【0010】このような強磁性トンネル接合素子センサを製造するには、順に積層された第一の反強磁性層、フリー磁性層、トンネルバリア層、固定磁性層、第二の反強磁性層を積層する工程と、磁界をMR高さ方向に印可しながら、第二の反強磁性層のブロッキング温度T_{B2}以上の温度で熱処理する工程と、磁界をトラック幅方向に印可し、第一の反強磁性層のブロッキング温度T_{B1}以上の温度で熱処理する工程を含む製造方法によって製造することができる。

【0011】ここでブロッキング温度とは交換結合磁界が発生する上限の温度である。

【0012】磁界測定時のノイズの発生を抑制するためには、外部磁界によりフリー磁性層の磁化方向を連続的に変化させる必要がある。このためにはフリー磁性層を単磁区化し、磁気異方性方向を測定対象である外部磁界に対して直交させることが有効である。これは、磁気抵抗効果センサーのノイズは、外部磁界により磁化方向を変化させるフリー磁性層の磁気異方性方向と相関があるためである。つまり、異方性方向がMR高さ方向の場合、異方性方向と外部磁界方向は平行であり、磁化方向の動きは不連続な磁区移動モードでありヒステリシスを発生する。異方性方向がトラック幅方向の場合、異方性方向と外部磁界方向は直交し、磁化方向の動きは連続的な磁化回転モードであり、ヒステリシスを発生しない。

【0013】そこで本発明では、第一の反強磁性層をフリー磁性層の全面に接触させることで、フリー磁性層に成膜中の磁界により誘起させる誘導磁気異方性より大きな交換結合磁界をフリー磁性層に直接作用させることにより、フリー磁性層を単磁区化し、磁気異方性方向を測定対象である外部磁界に対して直交させることが出来

る。このとき、MR高さ方向に外部磁界が印可されたとき、フリー磁性層の磁化変化は磁化回転モードであり、低ノイズで磁界を測定することができる。

【0014】固定層の異方性方向を回転させず所期の方向に向けたまま、フリー磁性層の異方性方向をそれと直交させるためには、固定層の熱処理温度よりも50℃以下の温度でフリー磁性層の異方性を回転させる必要がある。フリー磁性層のブロッキング温度 T_{B1} を固定層の磁界中熱処理よりも50℃低くすることで、磁界をトラック幅方向に印可し、反強磁性層のブロッキング温度 T_{B1} の直上で熱処理する工程により、固定層の異方性方向を所期の方向に向けたまま、フリー磁性層の異方性方向をそれと直交させることができる。

【0015】磁気抵抗効果センサーの代表的な応用例である磁気ディスクでは動作温度は100℃程度になるため、動作安定性を得るためには $T_{B1} > 150℃$ である必要がある。

【0016】また、この反強磁性層の発生する交換結合磁界を H_{ex1} は、フリー磁性層の誘導磁気異方性よりも十分大きい必要があるため、 $H_{ex1} > 200e$ が望ましい。

【0017】交換結合磁界の大きさは磁界センサの感度を決めるため、その制御が重要になる。反強磁性層と強磁性層間に薄い非磁性金属からなる界面制御層を積層することで、交換結合磁界は容易に制御できる。そこで本発明では、順に積層された第一の反強磁性層、界面制御層、フリー磁性層、トンネルバリア層、固定磁性層、第二の反強磁性層を有し、前記フリー磁性層が前記界面制御層を介して全面で前記第一の反強磁性層と密着しており、前記第一の反強磁性層の交換結合磁界により前記フリー磁性層の磁気異方性がトラック幅方向に向き、前記第二の反強磁性層の交換結合磁界により固定磁性層の磁気異方性がMR高さ方向に向くことを特徴とする。

【0018】また、界面制御層の厚さ t を、 $1nm \leq t \leq 10nm$ の範囲にすることで、交換結合磁界は磁界センサに適した値をとる。

【0019】さらに、前記第一の反強磁性層をバイアス強磁性層としても、交換結合磁界をフリー磁性層に作用することができ、同様の効果を有する。この場合、バイアス強磁性層の保磁力以上の磁界をトラック幅方向に印可する工程により、フリー磁性層に作用する磁気異方性はヒステリシスの少ないトラック幅方向となる。

【0020】

【発明の実施の形態】本発明の第一の実施形態を図1に示す。この強磁性トンネル接合素子センサは、基板11上に形成された下電極12、下地層13の上に、適当な大きさ形状にパターン化された第1の反強磁性層14、フリー磁性層15を積層し、トンネルバリア層16、固定磁性層17、第2の反強磁性層18が積層された構造である。第2の反強磁性層の上には上電極19が設けら

れている。

【0021】この強磁性トンネル接合素子センサのトラック幅方向はX方向であり、MR高さ方向はY方向である。外部磁界はY方向である。

【0022】下地層13には、Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Hf, Ta, W, Re, Pt, Au, Pbからなる群より選ばれる金属、これらの金属からなる合金、またはこれらの金属または合金から構成される二層膜を用いることができる。

【0023】第1、第2の反強磁性層は、Fe-Mn（鉄-マンガン）合金、Ni-Mn（ニッケル-マンガン）合金、Pt-Mn（白金-マンガン）合金、Ir-Mn（イリジウム-マンガン）合金、Ru-Mn（ルテニウム-マンガン）合金、Rh-Mn合金、Cr-Al（クロム-アルミ）合金のいずれかを用いるか、もしくはこれらの金属（合金）の二種類以上からなる合金を用いることができる。それらは二層膜として用いても良い。

【0024】フリー磁性層と固定磁性層の材料としては、Fe、CoおよびNiからなる群より選ばれた金属、またはこれらの金属を含む合金を用いることができる。例えば、NiFe, NiFeCo, CoZr系材料, FeCoB, センダスト, 窒化鉄系材料, FeCo等を用いることができる。フリー磁性層と固定磁性層の材料は同一であっても異なってもよい。

【0025】フリー磁性層および固定磁性層には、MR比を高めるために、非磁性層に隣接する面に1nm程度の薄いCo膜、CoFe膜を設けても良い。

【0026】トンネルバリア層は、Al、Mgおよび、ランタノイドに属する金属の酸化膜を用いることができる。

【0027】電極層は、Al、Pt等を用いることができる。

【0028】次に、本発明の第二の実施形態を図2に示す。この強磁性トンネル接合素子センサは、基板11上に形成された下電極12、下地層13の上に、適当な大きさ形状にパターン化された第1の反強磁性層14、界面制御層21、フリー磁性層15を積層し、トンネルバリア層16、固定磁性層17、第2の反強磁性層18が積層された構造である。第2の反強磁性層の上には上電極19が設けられている。

【0029】界面制御層として、Al, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Hf, Ta, W, Re, Pt, Au, Pb, Bi, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Erからなる群より選ばれる金属、これらの金属を含む合金を用いることができる。

【0030】本発明の第三の実施形態を図3に示す。こ

の強磁性トンネル接合素子センサは、基板 11 上に形成された下電極 12、下地層 13 の上に、適当な大きさ形状にパターン化されたバイアス強磁性層 31、フリー磁性層 15 を積層し、トンネルバリア層 16、固定磁性層 17、第 2 の反強磁性層 18 が積層された構造である。第 2 の反強磁性層の上には上電極 19 がもうけられている。

【0031】バイアス強磁性層は、CoCrPt、CoPt 等の強磁性層を用いることができる。

【0032】

【実施例】以下に実施例を示して本発明をさらに詳細に説明する。

【0033】（実施例 1）図 4（a）に示すよう、まず表面を熱酸化した Si 基板 41 上に 50 nm 厚の Al 膜からなる下電極 42、5 nm 厚の Ta の下地層 43 を形成した。

【0034】次に、第一の反強磁性層 44 として Fe-Mn (5 nm)、フリー磁性層 45 として NiFe (10 nm)、2 nm 厚の Al 膜からなる導電層 46 を連続してスパッタ成膜する。このときの成膜方法として、dc マグネトロンスパッタ法により、スパッタガスは Ar とし、ガス圧 0.3 Pa、投入パワーは 35 W でおこなった。次に、スパッタ装置内に純酸素を導入し、酸素圧力を 20 mTorr ~ 200 Torr の範囲で 10 分間保持して、Al 導電層表面を酸化してトンネルバリア層 47 を形成する。酸素を排気してバックランド圧力に到達した後、固定磁性層 48 として CoFe (10 nm) および第二の反強磁性層 49 として NiMn (30 nm) を順次積層した。このときの成膜方法として、dc マグネトロンスパッタ法により、スパッタガスは Ar とし、ガス圧 0.3 Pa、投入パワーは 35 W でおこなった。

【0035】次に、通常のフォトリソグラフィ技術とイオンミリング技術を用いて接合構成層の全層を下部配線形状に加工した（図 4（b））。第二の反強磁性層 49 上に接合寸法を規定するためのレジストパターン 50 を形成し、第一の反強磁性層 44 までイオンミリングする（図 4（c））。このレジストを残したまま 300 nm 厚の Al₂O₃ 膜からなる絶縁層 51 を電子ビーム蒸着した後、レジストのリフトオフを行う（図 4（d））。次に、上部配線を形成するためのレジストパターン 52 を形成した後（図 4（e））、第 2 の反強磁性層 49 と上部配線 53 間の電気的な接触を得るために露出した試料表面の逆スパッタクリーニングを行う。引き続き、200 nm 厚の Al 膜からなる上部配線層を蒸着し、最後にレジストをリフトオフすることによって上部配線 53 を形成し、強磁性トンネル接合素子を完成させる（図 4（f））。

【0036】次に、固定磁性層の着磁工程として 270 °C、磁界は MR 高さ方向に 3 KOe で 5 時間磁界中熱処

理した。次にフリー磁性層の着磁工程として 150 °C で、磁界はトラック幅方向に 500 e で 1 分磁界中熱処理した。

【0037】この強磁性トンネル接合素子センサを用いて、外部磁界と抵抗変化の関係（R-H 曲線）を調べたところヒステリシスのない正常な MR 曲線が得られている。

【0038】なお、フリー磁性層の着磁工程を行わない場合、ヒステリシスが大きな MR 曲線になり、磁界センサーとしての応用は出来ない。

【0039】（比較例 1）第 1 の反強磁性層がない以外は実施例 1 と同様にして、従来の強磁性トンネル接合素子センサを作製した。外部磁界と抵抗変化の関係（R-H 曲線）を調べたところ、大きなヒステリシスが観察され、磁界センサーとしての応用は不可能である。

【0040】（実施例 2）実施例 1 において、第一の反強磁性層として IrMn を 15 nm 用い、それ以外は実施例 1 と同様にした。IrMn の成膜には、合金ターゲットを用いた rf スパッタ法を用いた。スパッタガスは Ar とし、ガス圧 0.3 Pa、投入パワー 100 W でおこなった。フリー磁性層の着磁工程として 250 °C で、磁界はトラック幅方向に 500 e で 1 分磁界中熱処理した。それ以外の工程は実施例 1 と同様にして強磁性トンネル接合素子センサを作製した。

【0041】この強磁性トンネル接合素子センサを用いて、外部磁界と抵抗変化の関係（R-H 曲線）を調べたところ、ヒステリシスのない正常な MR 曲線が得られた。

【0042】（実施例 3）実施例 1 において、第一の反強磁性層として RhMn を 5 nm 用い、それ以外は実施例 1 と同様にした。RhMn の成膜には、合金ターゲットを用いた rf スパッタ法を用いた。スパッタガスは Ar とし、ガス圧 0.3 Pa、投入パワー 100 W でおこなった。フリー磁性層の着磁工程として 200 °C で、磁界はトラック幅方向に 500 e で 1 分磁界中熱処理した。それ以外の工程は実施例 1 と同様にして強磁性トンネル接合素子センサを作製した。

【0043】この強磁性トンネル接合素子センサを用いて、外部磁界と抵抗変化の関係（R-H 曲線）を調べたところ、ヒステリシスのない正常な MR 曲線が得られた。

【0044】（実施例 4）実施例 1 において、第一の反強磁性層として Cr-Al を 20 nm 用い、それ以外は実施例 1 と同様にした。Cr-Al の成膜には、合金ターゲットを用いた rf スパッタ法を用いた。スパッタガスは Ar とし、ガス圧 0.3 Pa、投入パワー 100 W でおこなった。フリー磁性層の着磁工程として 220 °C で、磁界はトラック幅方向に 500 e で 1 分磁界中熱処理した。それ以外の工程は実施例 1 と同様にして強磁性トンネル接合素子センサを作製した。

【0045】この強磁性トンネル接合素子センサを用いて、外部磁界と抵抗変化の関係（R-H曲線）を調べたところ、ヒステリシスのない正常なMR曲線が得られた。

【0046】（実施例5）実施例1において、第一の反強磁性層としてFeMnを10nm、フリー磁性層の間に界面制御層としてCuを1.5nmを用い、それ以外は実施例1と同様にした。Cuの成膜には、dcマグネトロンスパッタ法を用いた。スパッタガスはArとし、ガス圧0.3Pa、投入パワー7Wでおこなった。フリー磁性層の着磁工程として150℃で、磁界はトラック幅方向に500eで1分磁界中熱処理した。それ以外の工程は実施例1と同様にして強磁性トンネル接合素子センサを作製した。

【0047】この強磁性トンネル接合素子センサを用いて、外部磁界と抵抗変化の関係（R-H曲線）を調べたところ、ヒステリシスのない正常なMR曲線が得られた。

【0048】界面制御層としてCuの代わりにAl, Ti, V, Cr, Mn, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Hf, Ta, W, Re, Pt, Au, Pb, Bi, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Erのいずれかを用いた場合も同様の効果が得られた。

【0049】（実施例6）実施例1において、第一の反強磁性層の代わりにバイアス強磁性層としてCoCrPtを10nm、フリー磁性層の間に界面制御層としてAgを1.5nmを用い、それ以外は実施例1と同様にした。Agの成膜には、dcマグネトロンスパッタ法を用いた。スパッタガスはArとし、ガス圧0.3Pa、投入パワー10Wでおこなった。フリー磁性層の着磁工程として30℃で、磁界はトラック幅方向に3Koeで1

分磁界中処理した。それ以外の工程は実施例1と同様にして強磁性トンネル接合素子センサを作製した。

【0050】この強磁性トンネル接合素子センサを用いて、外部磁界と抵抗変化の関係（R-H曲線）を調べたところ、ヒステリシスのない正常なMR曲線が得られた。

【0051】

【発明の効果】本発明によれば、磁界測定時のノイズの小さい強磁性トンネル接合素子センサを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の強磁性トンネル接合素子センサの第1の実施の形態であって、その構成を示す説明図である。

【図2】本発明の強磁性トンネル接合素子センサの第2の実施の形態であって、その構成を示す説明図である。

【図3】本発明の強磁性トンネル接合素子センサの第3の実施の形態であって、その構成を示す説明図である。

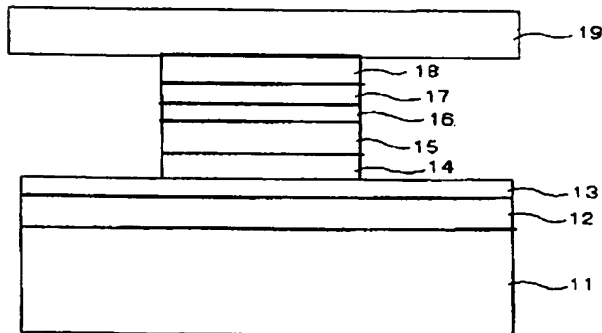
【図4】本発明の強磁性トンネル接合素子センサの製造方法を示す説明図である。

【図5】従来の強磁性トンネル接合素子センサであって、その構成を示す図である。

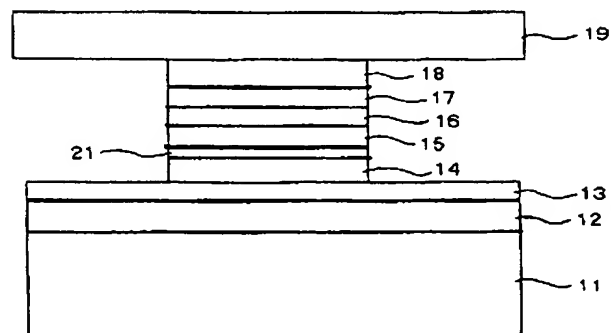
【符号の説明】

- 11 基板
- 12 下電極
- 13 下地層
- 14 第1の反強磁性層
- 15 フリー磁性層
- 16 トンネルバリア層
- 17 固定磁性層
- 21 界面制御層
- 31 バイアス強磁性層

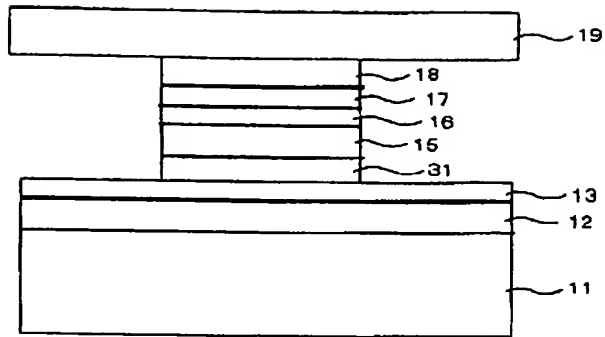
【図1】



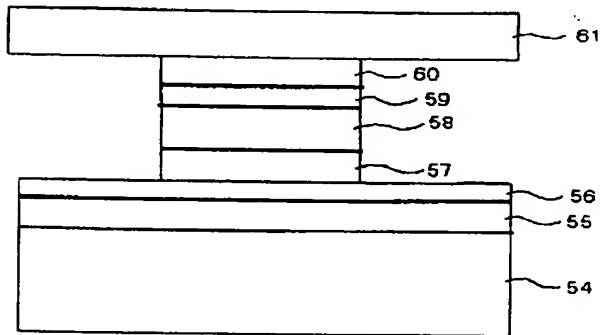
【図2】



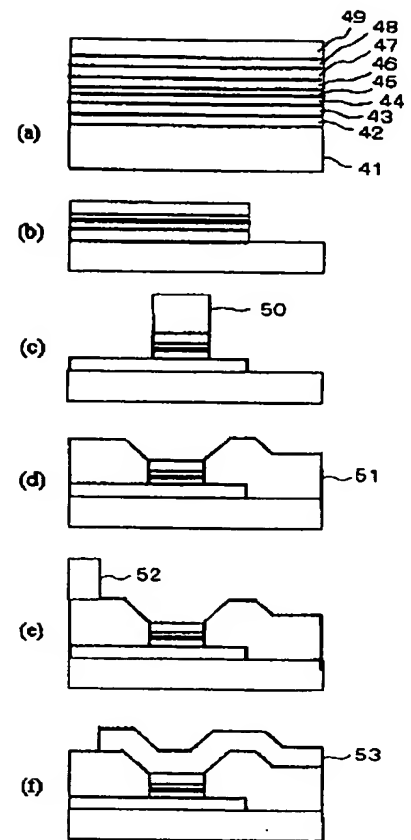
【図 3】



【図 5】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 松寺 久雄
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株
式会社内

(72)発明者 石綿 延行
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株
式会社内

(72)発明者 上條 敦
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株
式会社内